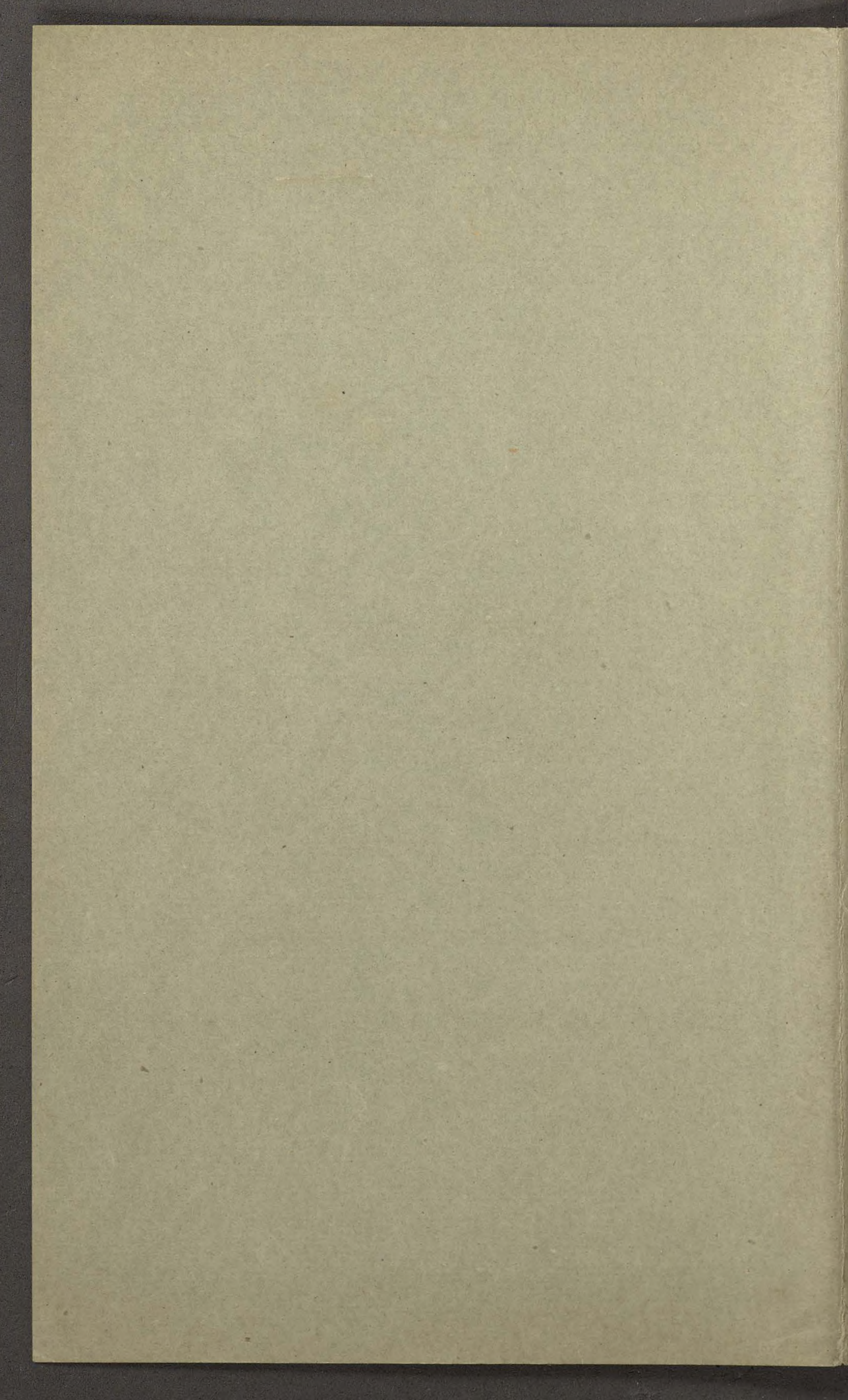
(855)

Bäckström

Electrische u. Thermische Leitvermögen d. Eisenglanzes



Öfversigt af Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar 1888. N:o 8.
Stockholm.

Meddelanden från Stockholms Högskola. N:o 79.

Elektrisches und thermisches Leitungsvermögen des Eisenglanzes.

Von Helge Bäckström.

[Mitgetheilt den 10 Oktober 1888 durch A. E. Nordenskiöld.]

Im Frühjahr 1887 begann ich in dem physikalischen Institute der Universität Stockholm eine Untersuchung über die elektrische Leitungsfähigkeit des Eisenglanzes. — Das ausgezeichnete Material von Eisenglanz, welches ich besass, sowie auch die grosse Freundlichkeit, mit welcher der Vorstand des Instituts, Dr. Knut Ångström, seine Rathschläge mir zur Verfügung stellte, veranlassten mich, meine Untersuchung auch auf das Wärmeleitungsvermögen, auf die Ausdehnung und auf die thermoelektrische Kraft in krystallographisch ungleichwerthigen Richtungen auszudehnen. Ausserdem sind noch einige Versuche über die hydroelektromotorische Kraft beim Kontakt zwischen verschiedenen Krystallflächen und einem Elektrolyt angestellt worden.

Da ich auf die letztgenannten Untersuchungen vielleicht nicht mehr zurück zu kommen Gelegenheit haben werde, weil sie ausserhalb meines eigentlichen Arbeitsplanes liegen, so möchte ich an dieser Stelle einige Worte über dieselben sagen. — Werden zwei Stücke eines Krystalles in eine Flüssigkeit so hineingetaucht, dass von jedem Krystallstück eine verschiedene Fläche mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, so greift die Flüssigkeit die verschiedenen Flächen verschieden an. Es entsteht dabei zwischen den beiden Flächen eine (unter identischen Umständen konstante?) Potentialdifferenz. Werden nun die beiden Krystallstücke mit einander in leitende Verbindung gebracht, so ent-

steht ein elektrischer Strom, welcher in der Lösung von der am meisten angegriffenen Fläche auszugehen scheint. Diese hydroelektromotorische Kraft in verschiedenen Richtungen eines Krystalles steht also — wie genau kann ich nicht angeben — mit den Lösungsverhältnissen des Krystalles im Zusammenhange, ist also eine Eigenschaft »erster Gruppe» nach SOHNCKE. — Meine Versuche sind hauptsächlich mit Magnetit ausgeführt.

Die Resultate der Untersuchung über das elektrische und thermische Leitungsvermögen, sowie über die Thermoelektricität des Eisenglanzes und einiger anderer krystallisirter Substanzen[1]) lege ich jetzt vor; ich hoffe später die Untersuchung fortsetzen zu können, da ich es für wünschenswerth halte, dass eine möglichst umfassende Untersuchung über dasselbe Material ausgeführt wird. Es finden sich nämlich in der Natur keine so vollkommen homogene und einfach gesetzmässig aufgebaute Körper wie die Krystalle, und desshalb dürften die Relationen, welche zwischen den physikalischen Eigenschaften der Materie unzweifelhaft existiren, gerade bei den Krystallen weniger komplicirt auftreten und daher hier am leichtesten entdeckt werden können. — Einen Beweis für diese meine Ansicht hoffe ich in dem ersten dieser Aufsätze geliefert zu haben.

Zum Schluss will ich nicht unterlassen den Herren Professoren W. C. BRÖGGER und Freiherrn A. E. NORDENSKIÖLD, welche aus den unter ihrem Schutze stehenden Sammlungen mit grösster Liberalität mich mit Material für meine Arbeiten versehen haben, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Über das elektrische Leitungsvermögen der *Minerale* liegen recht viele Untersuchungen vor. So haben RITTER[2]), HEIDMANN[3]), FOX[4]), v. KOBELL[5]), und andere das Leitungsvermögen für

[1]) Siehe den nachfolgenden Aufsatz.
[2]) Gehlens Journal **6**. 568 (1808).
[3]) Gilberts Ann. **21**. 93—95. (1805).
[4]) Phil. Magazine 1830. 399.
[5]) Münchener Gelehrte Anzeiger 1850 n:r 89 u. 90.

galvanische Elektricität, PELLETIER[1]), HAUSMANN et HENRICI[2]) u. a.[3]) das Leitungsvermögen für Reibungselektricität untersucht. — Alle diese Untersuchungen sind — wie aus dem unten befindlichen Literaturnachweis ersichtlich ist — ziemlich alt; mit den unvollkommenen Hülfsmitteln ihrer Zeit ausgeführt, und desshalb oft einander widersprechend, hatten sie mehr zum Ziel die Bestimmung eines neuen mineralogischen Kennzeichens, als das Feststellen einer krystallophysischen Eigenschaft. Nur HAUSMANN et HENRICI hatten ihre Aufmerksamkeit auch auf das letzterwähnte Ziel gerichtet und entdeckten auch eine deutliche Verschiedenheit in dem Leitungsvermögen verschiedener Richtungen desselben Krystalls bei einigen Mineralen, wie Malakolith, Hypersthen, Anhydrit und Gyps, dagegen bei anderen wie Antimonglanz, Bournonit und Turmalin nicht. Sie selbst unterschätzen jedoch die Bedeutung ihrer Beobachtungen, indem sie in der Übersicht der gewonnenen Resultate sagen: »So viel scheint aber doch hervorzugehen, dass die Richtung in Beziehung auf die Krystallachse gleichgültig ist, dass aber die Durchleitung der Elektricität zuweilen kleine Modifikationen wahrnehmen lässt, je nachdem sie bei stark abgesonderten Mineralkörpern mit der Absonderung parallel oder quer durch dieselbe geschieht».

Die aus krystallophysischem Gesichtspunkte wichtigsten Untersuchungen verdanken wir — wie schon früher in einer vorläufigen Mittheilung[4]) hervorgehoben —WIEDEMANN und SÉNARMONT, welche das Leitungsvermögen für Reibungselektricität der Krystallflächen studirt haben. — WIEDEMANN[5]) liess die Elektricität von einer Spitze gegen eine mit Lycopodium bestreute Krystallplatte ausströmen und sah dann das Pulver in verschiedenen Richtungen in ungleicher Weise fortgestossen werden; SÉNARMONT[6]) bedeckte die Krystallplatte mit einem Stanniolblatte, in welchem sich eine kreisförmige Öffnung befand; auf die Mitte

---

[1]) Gilberts Ann. **46**. 198 (1814).

[2]) Studien d. Göttingschen Vereins bergmännischer Freunde 4. 215 (1838).

[3]) Vgl. Ritters Abhandlung.

[4]) Diese Zeitschr. 1887, 343.

[5]) Pogg. Ann. **76**. 406. (1849).

[6]) Ann. Chim. Phys. (3) **28**. 257. (1850).

der frei gebliebenen Krystallfläche setzte er eine mit Elektricität geladene Spitze und beobachtete den Gang des Funkens an dem Stanniolblatt im luftverdünnten Raume. Der elektrische Funke schlägt dann denjenigen Weg ein, welcher dem Maximum des Leitungsvermögens der Fläche entspricht. In beiden Fällen ist übereinstimmend das Resultat gewonnen, dass auf den Flächen regulärer Krystalle, sowie auf den Flächen optisch einaxiger Krystalle, welche senkrecht gegen die Hauptaxe liegen, das elektrische Leitungsvermögen in allen Richtungen gleich ist; auf allen anderen Krystallflächen ist es dagegen mit der Richtung wechselnd und kann durch die Radien ellipsenähnlicher Kurven repräsentirt werden.

Über das innere Leitungsvermögen von Krystallen sind bisher wohl noch keine Resultate bekannt geworden.

Die Schwierigkeit, gutes Material zum Untersuchen des inneren Leitungsvermögens zu bekommen, wird schon von WIEDEMANN hervorgehoben. Es ist mir auch trotz vieler Mühe nicht gelungen, brauchbares Material von anderen Mineralen zu finden, als Eisenglanz und Magnetit. Die erste Bedingung ist nämlich, dass die zu untersuchenden Stäbe aus identischem Materiale, am besten aus demselben Krystall geschnitten werden. Ferner soll das Material völlig homogen und von Sprüngen und Zwillingslamellen frei sein; endlich darf es keine von dem geologischen Vorkommen des Minerals hervorgebrachte Anomalieen aufweisen. — Als ein Beispiel der letzterwähnten Bedingung, kann ich meine Beobachtungen beim Schwefelkies erwähnen. Aus einem grösseren, kubischen Krystalle wurden Stäbe in drei verschiedenen Richtungen angefertigt; sie waren oberflächlich völlig homogen und frei von Sprüngen; da mir aber die erhaltenen Resultate doch verdächtig zu sein schienen, beschloss ich den Widerstand in verschiedenen Theilen desselben Stabes zu untersuchen. — Leitet man einen konstanten Strom durch den Stab und drückt gegen denselben zwei, fest vereinigte aber von einander isolirte Nädeln, die in Verbindung mit einem LIPP-

MANN'schen Kapillarelektrometer stehen, so kann die Potentialdifferenz zwischen zwei, in einem bestimmten Abstand von einander belegenen Punkten des Stabes bestimmt werden. Werden nun die Nadeln an eine andere Stelle des Stabes gesetzt, so bekommt man einen neuen Werth der Potentialdifferenz, welcher, falls der Stab völlig homogen und der Widerstand gleich langer Theile des Stabes also gleich gross gewesen wäre, mit dem früher erhaltenen identisch sein müsste. Dies war indessen nicht der Fall, sondern der Widerstand erwies sich als höchst verschieden. — Da nun der Schwefelkies, und besonders die kubischen Krystalle, häufig in regionalmetamorphosirten Gesteinen vorkommen, so bin ich geneigt, die wahrgenommenen Anomalieen als durch den bei der Bildung des Gesteins herrschenden Druck hervorgebracht anzusehen.

Der Eisenglanz, welcher von Prof. W. C. BRÖGGER zu meiner Verfügung gestellt wurde, entsprach sämmtlichen der eben erwähnten Bedingungen. Dieser Eisenglanz, von der Peder Ankers Grube auf der Insel Langö bei Kragerö in Norwegen, ist, wie die Beschreibung zeigt, derselbe, welcher von RAMMELSBERG analysirt ist.[1]) Er enthält viel Titan, doch — scheint es mir — nicht so viel, um Titaneisen genannt zu werden, unter welchem Namen er in RAMMELSBERGS Mineralchemie aufgeführt ist. Die Analyse zeigt:

$$\begin{aligned} TiO_2 &= 3{,}55 \\ Fe_2O_3 &= 93{,}63 \\ FeO &= 3{,}26 \\ \hline & 100{,}44 \end{aligned}$$

Das Material besteht aus grossen, platten Krystallstücken, oben und unten von der Basis begrenzt und bisweilen mit kleinen Krystallflächen an den Seiten. Die basale Endfläche ist glänzend, mit dreiseitiger Streifung und hie und da mit gut ausgebildeten dreiseitigen Ätzgrübchen, von einem niedrigen Rhomboeder gebildet. Diese, wie auch die Streifung, sind überall auf

[1]) Pogg. Ann. **104**. 528.

gleiche Weise orientirt, woraus einleuchtet, dass das ganze Stück aus einem einzigen Individen besteht. — Die erwähnten Ätzfiguren gestatteten auch eine genaue Orientirung der Stäbe.

Der Eisenglanz krystallisirt bekanntlich im hexagonalen Systeme mit rhomboedrischer Hemiedrie; die Hauptrichtungen, nach welchen Stäbe angefertigt werden mussten, sind desshalb 1:o die Hauptaxe, 2:o eine Nebenaxe und 3:o eine Zwischenaxe.

Im dem mineralogischen Institute wurden nun von dessen Präparant A. ANDERSSON aus einem solchen Stück Stäbe von 0,8—3,0 cm Länge und c:a 2,5 mm Querschnitt, und zwar mehrere in jeder Richtung angefertigt.

Um zuverlässige Kontakte zu bekommen — was sich als sehr wichtig erwies — wurden die Endflächen des Stabes auf galvanischem Wege mit Kupfer überzogen, was, bei Anwendung einer Lösung von Cyankupfer in Cyankalium, ziemlich leicht war, worauf sie amalgamirt wurden. Um den Stab in die Leitung einzuführen, wurde er zwischen zwei vertikalen, an den Innenseiten amalgamirten Kupferfedern eingeklemmt, welche durch einen grösseren Korkstöpsel, in den angewandten Erhitzungsapparat passend, gesteckt waren. Letzterer war für Temperaturen unterhalb 100 ° ein Blechgefäss mit doppelten Wänden, deren Zwischenraum mit Wasser gefüllt war, für höhere Temperaturen wurde ein ähnliches Gefäss von Schmiedeeisen verwendet, dessen Zwischenraum Quecksilber enthielt. — Der Leitungswiderstand wurde mittels einer WHEATSTONE'schen Brücke in Walzenform nach KOHLRAUSCH'S Konstruktion mit einem Widerstandsetalon von 100 Ohm bestimmt. — Um Erwärmung durch den Strom zu vermeiden, war derselbe nur schwach und wurde bloss momentan geschlossen. Bei länger andauerndem Strom wird der Widerstand, in Folge der Erwärmung des ganzen Stabes etwas geändert, und ferner tritt, weil Eisenglanz gegen Kupfer sehr stark thermoelektrisch ist, ein recht bedeutender Peltiereffekt auf, welcher einen Strom in der dem Hauptstrome entgegengesetzten Richtung und damit einen Fehler bei der Bestimmung des Widerstandes erzeugt.

Sowohl der Eisenglanz als der Magnetit ist früher Gegenstand für Leitungsversuche gewesen, jedoch nicht aus krystallophysischem Gesichtspunkte. So hat Prof. S. P. THOMPSON den Widerstand des Magnetits von Arkansas untersucht[1]) und dabei gefunden, dass derselbe bei gesteigerter Temperatur abnimmt; für das absolute Leitungsvermögen findet er Werthe, welche von den meinigen ziemlich bedeutend abweichen. Er hat auch den Widerstand des Eisenglanzes untersucht, hier ist aber die Abweichung von den von mir an vorzüglichem Materiale gefundenen Resultaten höchst bedeutend; er findet nämlich den Widerstand eines Stücks, welches nach meinen Resultaten einen Widerstand von c:a 2—8 Ohm ergeben würde, gleich 108 Megohms.

DU MONCEL[2]) hat die Leitungsverhältnisse des Eisenglanzes studirt und das Vorhandensein eines Polarisationsstromes beobachtet. Dies ist doch nur zum Theil richtig; man bekommt einen sekundären Strom, aber dieser ist ganz und gar von der Thermoelektricität abhängig. Um zu untersuchen, ob ein eigentlicher Polarisationsstrom wirklich existirt, stellten Dr. K. ÅNGSTRÖM und der Verf. umfassende Versuche an, welche folgendermassen ausgeführt wurden: an den Kontaktstellen zwischen dem Eisenglanzstab und den Kupferfedern wurden Thermoelemente gelegt und gegen direkte Berührung durch äusserst dünne Glimmerblättchen geschützt. Mittels eines Kommutators konnte der Hauptstrom unterbrochen und der Eisenglanzstab in Verbindung mit einem Spiegelgalvanometer gebracht werden, wodurch der ganze Verlauf des sekundären Stromes beobachtet und mit dem Verlauf der Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Kontaktstellen verglichen werden konnte. Diese Temperaturdifferenzen wurden von dem in Verbindung mit einem anderen Spiegelgalvanometer stehenden Thermoelemente angegeben. — Es zeigte sich dann ein vollständiger Parallelismus zwischen den beiden Strömen, wodurch das Vorhandensein eines wirklichen Polarisationsstromes widerlegt zu sein scheint.

---

[1]) Referat in La Lumiere Elektrique 22. 621.

[2]) Comptes Rendus. 81. 515 (1875).

In den nachfolgenden Tabellen sind angeführt: zuerst die Bezeichnung, Länge und Querschnitt des Stabes (letzterer durch Wägen des Stabes und Division mit dem sp. Gew. und der Länge berechnet); ferner die Temperatur T des Stabes bei der Widerstandsbestimmung (korrigirt für den herausragenden Quecksilberfaden des Thermometers); die zu diesen Temperaturen gehörigen Widerstände M; endlich der aus den Beobachtungen berechnete Widerstand W eines Stabes von 1 cm Länge und 1 qumm Querschnitt. — In jeder Tabelle sind die interpolirten Werthe für 0°, 17°, (Zimmertemperatur) und 100° aufgenommen.

Stäbe der Hauptaxe parallel.

Stab 1a.
Länge 0,870 cm.
Querschn. 2,419 mm².

T	M	W
25,8	23,49	65,30
17,2	25,49	70,86
17	—	70,99

Stab 1c.
Länge 0,823 cm.
Quersch. 2,359 mm².

T	M	W
17,0	24,35	69,80

Stab 1b.
Länge 1.262 cm.
Querschn. 2,374 mm².

T	M	W
3,1	42,42	79,80
15,9	37,01	69,62
39,9	29,40	55,31
61,7	24,01	45,17
72,8	21,83	41,06
81,2	20,34	38,26
87,7	19,38	36,46
101,6	17,48	32,88
139,4	13,66	25,70
171,2	11,33	21,32
195,9	9,93	18,67
205,9	9,42	17,72
208,5	9,31	17,51
236,7	8,21	15,45
0	—	81,95
17	—	68,97
100	—	33,44
236,7	—	15,45

Stab 1d.

Länge 1,53 cm.

Quersch. 0,6739 mm².

T	M	W
1,3	178,86	78,78
16,3	156,08	68,75
42,8	119,06	52,44
63,7	97,04	42,74
94,4	77,49	44,13
94,65	77,37	34
0	—	79,66
17	—	68,36
100	—	32,85

Stäbe einer Nebenaxe parallel.

Stab 2a.

Länge 2,858 cm.

Quersch. 2,513 mm².

T	M	W
1,3	46,02	40,45
18,3	39,40	34,65
55,8	28,63	25,18
93,3	21,86	19,22
0	—	40,90
17	—	35,10
100	—	18,29

Stab 2b.

Länge 3,037 cm.

Quersch. 2,716 mm².

T	M	W
1,2	44,09	40,08
17,8	38,27	34,79
38,3	31,61	28,74
56,9	26,90	24,46
77,2	23,05	20,95
92,6	20,58	18,71
0	—	40,47
17	—	35,04
100	—	17,63

Stäbe einer Zwischenaxe parallel.

Stab 3a.

Länge 2,156 cm.

Quersch. 2,028 mm².

T	M	W
1,8	42,64	40,11
16,0	37,67	35,43

Stab 3b.

Länge 1,958 cm.

Quersch. 1,990 mm².

T	M	W
0,8	40,47	41,10
15,8	35,48	36,03

17,8	36,99	34,80	18,3	34,84	35,37
41,8	29,84	28,07	59,8	24,61	24,98
71,0	23,82	22,41	73,1	22,70	23,02
92,4	20,64	19,41	94,4	19,79	20,08
0	—	40,71	105,6	18,03	18,32
17	—	35,08	131,0	15,44	15,69
100	—	18,35	167,5	12,81	13,02
			202,0	11,11	11,29
			214,8	10,54	10,72
			231,3	9,97	10,13
			238,9	9,73	9,89
			0	—	41,37
			17	—	35,70
			100	—	19,20
			236,7	—	9,97

Hieraus ergiebt sich das schon in einer früheren Mittheilung[1]) erwähnte Resultat, dass der Widerstand in sämmtlichen Richtungen der Hauptsymmetrieebene gleich gross ist, der Widerstand längs der Hauptaxe dagegen fast doppelt so gross ist als in jenen.

Wie aus den Tabellen ersichtlich, ist die Übereinstimmung zwischen verschiedenen Stäben gleichwerthiger Richtungen ziemlich gut, obwohl die Genauigkeit durch die Einwirkung mehrerer störenden Einflüsse vermindert wird. Von diesen dürften die bedeutendsten sein: erstens kleine, individuelle Verschiedenheiten in den Stäben, zweitens die Unsicherheit in der exakten Temperaturbestimmung — da man ja nur die Temperatur der Luft in der Nähe des Stabes misst —, und drittens die Schwierigkeit, an den Kontaktflächen einen kleinen Übergangswiderstand ganz zu vermeiden. — Von diesen Fehlerquellen scheint die zweite von der grössten Bedeutung zu sein.

Als Grundlage der im Folgenden gemachten Berechnugen dienen die Mittel der Bestimmungen an den Stäben 2a und 3a, welche sehr gut mit einander übereinstimmen, sowie an den Stäben 1b und 1d. Ich führe sie hier auf:

[1]) Diese Zeitschrift 1887 343.

T	c	a
0°	80,80	40,8
17°	68,7	35,1
100°	33,1	18,3

c bezeichnet die Richtung parallel, a diejenige senkrecht zur Hauptaxe.

Betrachten wir zuerst das Verhältniss $\frac{W_c}{W_a}$ zwischen den Leitungswiderstände bei verschiedenen Temperaturen in den zwei Axenrichtungen, so finden wir:

T	$\frac{W_c}{W_a}$
bei 0°	= 1,98
17°	= 1,96
100°	= 1,81
236°,7	= 1,55

Das Verhältniss nimmt also mit zunehmender Temperatur ziemlich stark ab.

Betreffend den Einfluss der Temperatur auf den absoluten Werth des Widerstandes finden wir, dass, obwohl der Eisenglanz als ein ziemlich guter Leiter betrachtet werden muss, und obwohl, wie eben gezeigt ist, die Leitung ohne Polarisation stattfindet, sich doch der Widerstand mit steigender Temperatur vermindert, also ganz wie bei Elektrolyten und Isolatoren und entgegengesetzt den Metallen — (abgesehen vom Wismuth[1])).

Der Temperaturkoefficient k ist — unter der Annahme, dass der Widerstand sich nach der formel $W_t = W_0\ (1—kt)$ ausdrücken liesse — recht bedeutend und ebenfalls mit wachsender Temperatur sinkend, wie aus folgenden Werthen folgt:

Temp. diff.	k_c	k_a
0—17	0,00834	0,00824
0—100	0,00624	0,00551
0—236,7	0,00343	0,00318

[1]) v. ETTINGSHAUSEN u. NERNST. Wied. Ann. **33**. 477 (1888).

Der Widerstand lässt sich nach der Formel

$$W_t = W_0 (1 + at + bt^2 + \ldots)$$

mit drei Termen nicht mit hinlänglicher Genauigkeit generell ausdrücken.

Um eine sichere Bestimmung des relativen Verhältnisses zwischen den Temperaturkoefficienten der beiden Axenrichtungen zu erhalten, wurden die Bestimmungen für 0° und 100° in Ölbädern wiederholt und zwar so, dass der Stab mit Zuleitung und Thermometer abwechselnd in zwei Ölbäder hineingetaucht wurde, welche durch Eis resp. Wasserdampf auf konstanten Temperaturen (c:a 1°,5 und 98°,5) gehalten wurden.

Im Mittel berechnet sich aus diesen Versuchen der Widerstand bei 100° aus demjenigen bei 0° aus den Gleichungen:

$$28{,}89 = 72{,}33\ (1 - 100\,k_c);\ k_c = 0.006491$$

$$16{,}52 = 41{,}94\ (1 - 100\,k_a);\ k_a = 0{,}006064$$

Der Unterschied zwischen diesen Zahlen und den früher gefundenen zeigt wie schwierig es ist, dem Stabe eine der ihn umgebenden Luft gleiche Temperatur zu geben, und dass die Temperaturbestimmung bei Anwendung von Ölbädern genauer ausfällt.

Das Verhältniss zwischen den Koefficienten wird hieraus:

$$\frac{k_c}{k_a} = 1{,}07.$$

Aus einem grösseren Krystalle von Magnetit — bekanntlich dem regulären Systeme angehörig — von Nordmarken in Schweden, aus dem Reichsmuseum erhalten, wurden zwei Stäbe angefertigt, der eine einer Kubenkante, der zweite der Diagonale des Kubus parallel. — Beide Stäbe hatten etwa 0,75 cm Länge und 0,5 mm² Querschnitt. Ihre Leitungswiderstände wurden in der soeben beschriebenen Weise bestimmt; der Widerstand nimmt mit wachsender Temperatur gelinde ab und war bei 40° — auf dieselben Einheitsdimensionen wie oben reducirt —:

bei dem einen = 0,5162 Ohm

» » anderen = 0,5169 »

also innerhalb der hier vorhandenen Fehlergrenzen gleich.

Dieses Resultat steht in vollständiger Übereinstimmung mit dem früher gefundenen, dass der Leitungswiderstand in allen Richtungen in der Hauptsymmetrieebene eines Krystalles mit Hauptaxe gleich ist. Darnach bin ich zu folgern berechtigt, *dass das elektrische Leitungsvermögen eine Eigenschaft der zweiten Ordnung nach der* SOHNCKE'*schen Eintheilung der physikalischen Eigenschaften der Krystalle ist.*

Zu dieser Gruppe, charakterisirt durch eine eigenthümliche lockere Beziehung zur Krystallstruktur, indem auch krystallographisch ungleichwerthige Richtungen physikalisch gleich sein können, gehört auch das Wärmeleitungsvermögen. Es schien mir desshalb von Interesse, zu sehen, ob man berechtigt ist — wie übrigens schon geschehen — die matematische Theorie der Wärmeleitung in Krystallen ohne Weiteres auf die Elektricitätsleitung zu übertragen. — Für diesen Zweck studirte ich den Widerstand in den Zwischenrichtungen.

Wie bei der Wärmeleitung in Krystallen die Isothermflächen dreiaxige Ellipsoide resp. Rotationsellipsoide oder Sphären sind, so sind bei der Fortpflanzung der Elektricität von einem Punkt innerhalb eines Krystalles die Äquipotentialflächen dreiaxige Ellipsoide etc., deren Hauptaxen sich wie die Quadratwurzeln aus den entsprechenden Hauptleitungsvermögen verhalten. Die Widerstände *in beliebigen Richtungen* werden desshalb den Quadraten der entsprechenden Radien der Äquipotentialäche umgekehrt proportional. — Da also — um den einfachsten Fall, nämlich den Durchschnitt eines Rotationsellipsoids mit einer die Hauptaxe enthaltenden Ebene zu betrachten — die Radien r der Äquipotentialfläche durch den Ausdruck

$$ar = \sqrt{\frac{1}{\frac{\mathrm{Cos}^2\theta}{\frac{1}{W_c}} + \frac{\mathrm{Sin}^2\theta}{\frac{1}{W_a}}}}$$

dargestellt werden, wo W_c und W_a die Widerstände in den zwei Axenrichtungen bezeichnen, θ der Winkel mit der Hauptaxe und a

eine Konstante ist, so wird der Widerstand in einer Zwischenrichtung durch die Formel ausgedrückt:

$$W_\theta = W_c \operatorname{Cos}^2 \theta + W_a \operatorname{Sin}^2 \theta.$$

Um den Widerstand in den Zwischenrichtungen zu bestimmen wurden drei Stäbe aus demselben Eisenglanzkrystall wie früher angefertigt, und ihre Widerstände, wie oben angegeben, bestimmt. Folgende Resultate wurden erhalten:

	Stab 4			Stab 5		
	$\theta = 27° 15'$			$\theta = 38° 6'$		
	L = 1,125			L = 0,8144		
	Q = 2,897			Q = 1,0011		
	T	M	W	T	M	W
	19°,3	23,23	59,82	19°,0	43,66	53,67
woraus	17°	23,66	60,93	17°	44,46	54,65

	Stab 6		
	$\theta = 28° 35'$		
	L = 0,923		
	Q = 1,376		
	T	M	W
	18°,9	40,23	—
	16°,2	41,06	—
	17°,45	40,59	—
	21°,6	39,22	—
woraus	17°	40,73	60,00

Stellen wir diese Resultate mit den aus der obenstehenden Formel berechneten zusammen, so finden wir: — alles bei 17° —

	Gemessen.	Berechnet.
Stab 4	60,93	61,69
» 5	54,65	55,91
» 6	60,00	61,00

also eine befriedigende Übereinstimmung, welche die Bestätigung der Theorie giebt und die genaue, qualitative Übereinstimmung zwischen der Fortpflanzungsweise der Elektricität und derjenigen der Wärme zeigt.

Das Wärmeleitungsvermögen des Eisenglanzes.

Wegen der vielfachen Analogien, welche zwischen dem Leitungsvermögen der Elektricität und der Wärme existiren, schien es mir von Interesse, im Zusammenhang mit dem Studium des elektrischen Leitungswiderstandes, auch die Konstanten des Wärmeleitungsvermögens zu bestimmen. Wegen der Schwierigkeit, mit so kleinen Stäben, wie ich sie besass, das absolute Wärmeleitungsvermögen zu bestimmen, musste ich mich, wenigstens jetzt, auf die Feststellung des relativen Leitungsvermögens in den beiden Axenrichtungen beschränken. — Dasselbe ist früher von JANNETTAZ[1]) für Eisenglanz (wahrscheinlich von Elba?) bestimmt. Er fand das Leitungsvermögen längs der Hauptaxe kleiner und das Verhältniss zwischen den Axen gleich 1,1. Da indessen dies Resultat von dem von mir für die relative Elektricitätsleitung gefundenen abweicht, und da ferner der von mir benutzte Eisenglanz durch seinen hohen Titangehalt sich von dem Elba'schen bedeutend unterscheidet, so fand ich mich veranlasst, für mein Material diese Bestimmung zu wiederholen, und zwar nach verschiedenen Methoden, um zu untersuchen, ob hier wirklich eine bemerkenswerthe Abweichung von der im Übrigen so grossen Analogie zwischen den Leitungsvermögen der Wärme und der Elektricität stattfindet, wie es nach JANNETTAZ' Versuchen der Fall zu sein scheint.

Aus demselben Stück, woraus früher das Material zu den Stäben genommen worden war, wurden nun eine circa 1,2 mm dicke Platte, der Hauptaxe parallel, angefertigt. Die Platte wurde feingeschliffen und mit Firniss überzogen, worauf nach der

[1]) Ann. Chim. Phys. (4). **29**. 39 (1873).

RÖNTGEN'schen Methode Isothermen auf derselben erzeugt wurden. Als Mittel aus 6 Versuchen zwischen den Grenzen 1,08 und 1,05 bekam ich als Verhältniss zwischen den Ellipsenaxen:

1,06.

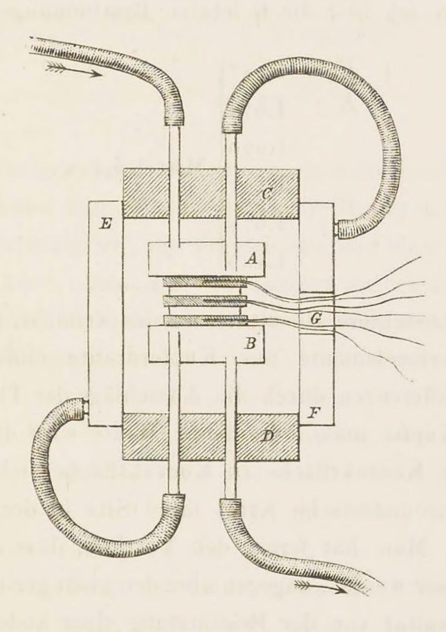
Eine Bestimmung nach der SENARMONT'schen Methode ergab dasselbe Resultat, nämlich 1,064.

Um das Resultat weiter zu prüfen, beschloss ich die Bestimmung noch in einer andern Weise auszuführen. Von Dr. K. ÅNGSTRÖM wurde nun folgende Methode vorgeschlagen, im Princip dieselbe, welche von CHRISTIANSEN[1]) benutzt worden ist. Eine Eisenglanzplatte, senkrecht zur Hauptaxe, wurde aus demselben Stück angefertigt, hierauf beide Platten zusammengelegt und so abgeschliffen, dass sie dieselbe Fläche (c:a 1,5 cm^2) bekamen. Nachdem sodann die Platten, mit Ausnahme der Kanten, verkupfert und amalgamirt worden waren, wurden sie zwischen drei etwas grössere, gleichfalls amalgamirte Kupferplatten gelegt, die bis zur Mitte mit einem Einschnitt versehen waren, in welchen ein feines Thermoelement eingeführt werden konnte. Das Ganze wurde darauf zwischen zwei Kupferdosen A und B (siehe die Fig.) gelegt, welche mit Zu- und Ableitungsröhren und zwei grossen Korkstöpseln C und D versehen waren, welche einem Blechcylinder EF angepasst waren, so dass, wenn die Korkstöpsel eingeschoben wurden, die amalgamirten Platten gleichmässig und gelinde gegen einander gepresst wurden. Durch eine Öffnung G, in der Wand des blechernen Cylinders konnten die Drähte der Thermoelemente herausgenommen werden. Endlich wurden, wie Fig. zeigt, die Kupferdosen und der Blechcylinder durch Glasröhren und Gummischläuche mit einander und mit einem cylindrischen Blechgefässe (in der Fig. nicht angegeben) verbunden, worauf das Ganze mit Wasser gefüllt wurde. Wird nun das Wasser in dem grossen Cylinder erhitzt und mittelst eines Thermoregulators auf konstanter Temperatur erhalten, so muss, da die gleich hohe Wassersäule ausserhalb des Cylinders kälter und folglich schwerer ist, eine Cirkulation stattfinden, wobei ein warmer Wasserstrom zuerst durch die obere

[1]) WIEDEMANNS Ann. 14. 23 (1881).

Kupferdose, dann durch den doppelwandigen Cylinder und darauf durch die untere Kupferdose hindurchgeht. Durch diese Anordnung wird der Cylinder stets auf einer Temperatur erhalten, die zwischen denjenigen der beiden Dosen liegt.

Wenn der Zustand stationär geworden ist, geht ein konstanter Wärmestrom durch die Platten. Vermöge der eingeführ-



ten Thermoelemente können dann die Temperaturdifferenzen zwischen der oberen und mittleren (t_1) und zwischen der mittleren und unteren (t_2) Kupferplatte gemessen werden. Diese Temperaturdifferenzen sind dem Widerstande der respektiven Eisenglanzplatten proportional; der Widerstand setzt sich aus zwei Faktoren zusammen: aus der Dicke der Platte (D_c und D_a) und aus ihrem Wärmeleitungsvermögen (K_c und K_a). Da ferner die Temperaturdifferenzen dem Ausschlag am Spiegelgalvanometer, in Scalentheilen (n_1 und n_2) gemessen, direkt proportional sind, so hat man die einfache Relation:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{D_1}{D_2} \text{ also } \frac{K_1}{K_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{D_2}{D_1}.$$

Nach jeder Bestimmung von n_1, n_2 wurden die Eisenglanzplatten umgelegt, so dass diejenige, welche früher die untere war, jetzt die obere wurde. — Die in dieser Weise erhaltenen Resultate waren jedoch wegen der Schwierigkeit, bei den wiederholten Umlegungen immer gute Kontakte zu bekommen, und vielleicht auch aus anderen Ursachen, nicht völlig konstant. Als ein Beispiel führe ich hier die 6 letzten Bestimmungen an:

$$\frac{K_a}{K_c} = \left.\begin{matrix} 1{,}087 \\ 1{,}076 \\ 1{,}090 \\ 1{,}197 \\ 1{,}078 \\ 1{,}169 \end{matrix}\right\} \text{Mittel } 1{,}113$$

Weit konstantere Resultate wurden erreicht, wenn man statt isolirter Thermoelemente nur Kupferdrähte einführte und die Temperaturdifferenzen durch die Ausschläge des Thermoelementes Eisenglanz-Kupfer mass. In dieser Weise wird die Temperaturdifferenz von Kontaktfläche zu Kontaktfläche sicherer gemessen, da die elektromotorische Kraft ihren Sitz in der Kontaktfläche selbst hat. Man hat ferner den Vortheil, dass die Ausschläge vielfach grösser werden, dagegen aber den nicht geringen Nachtheil, dass das Resultat von der Bestimmung einer anderen Konstante, nämlich des Verhältnisses zwischen der thermoelektrischen Kraft in den zwei Axenrichtungen [1]) abhängig wird. — Die Relation wird übrigens dieselbe wie früher; man hat nur mit der ebenerwähnten Konstante — nach meiner Bestimmung = 1,09 — zu multipliciren. — Als Mittel aus 12 Bestimmungen zwischen 1,158 und 1,071 ergab sich:

$$\frac{K_a}{K_c} = 1{,}113$$

Um mit diesem Resultat verglichen werden zu können, muss die gefundene Zahl, die das Verhältniss zwischen den Axen der

[1]) Siehe meine nachfolgende Abhandlung.

isothermen Ellipse angiebt, ins Quadrat erhoben werden. Es ergiebt sich dann

$$\frac{K_a}{K_c} = 1{,}12$$

also übereinstimmend mit den zwei vorigen Zahlen.

Ich bringe in Erinnerung, dass der relative Leitungswiderstand für Elektricität bei derselben Temperatur, circa 50°, war:

$$\frac{W_c}{W_a} = 1{,}8.$$

In dem Vorigen habe ich gezeigt, dass die Übereinstimmung der Elektricitäts- und Wärmeleitung in Bezug auf allgemeines Verhalten vollständig ist; die Vergleichung der eben mitgetheilten Zahlen zeigt aber, dass das Verhältniss zwischen den Hauptleitungsvermögen der Elektricität und der Wärme ein ganz verschiedenes sein kann.

